

Mechanisches Rechnen mit präzis geformten Stahlkörpern und Zahnrad-Getrieben

Inhalt:

Im Museum für Kommunikation finden sich 143 Negativ-Folien (ca. A4) mit Resultaten von Berechnungen der Firma HASLER, Bern, welche offenbar nach Italien geliefert worden sind. Es sind numerische Anweisungen über die Frästiefe zur Herstellung der ballistischen **Formkörper** im **Feuerleitgerät** für die italienischen Fliegerabwehr-Kanonen 90/53. Die Folien sind alle gesichtet worden, einzelne wurden freihändig fotografiert ab Leuchttisch. Das Prinzip des Rechnens mit Formkörpern wird hier dargestellt. Ein Ausblick skizziert, wie die Daten zur Berechnung der Formkörper vermutlich erhoben worden sind, mit Fragen zum Luftwiderstand.

Drei Anhänge: A. Die Daten auf den HASLER-Folien passen nicht zu den bekannten HASLER-Kommandogeräten	p. 16
B. Luftwiderstand der Geschosse und „Mariandl“-Integraph, mit Beschreibung der Kugel-Integratoren	p. 17
C. Zeitliche Entwicklung und Neuerungen bei den HASLER-Kommandogeräten	p. 20

Datierung / Namen:

Die Folien sind nur sehr spärlich datiert. Berechnungen: 1950. Einzelne Korrekturen: 1951
Signiert sind die Blätter nur selten. Es hat ein M. BERCHTEN unterschrieben, und nicht der erwartete E. SCHULTZE. Einzelne Kurz-Signaturen bei Korrekturen sind nicht zu entziffern.

Zusammenhang mit den zeitgenössischen HASLER-Geräten:

In der Jubiläumsschrift HASLER – 1852-1952 (nicht aber im Internet) findet sich die Aussage, dass HASLER eigene Kommandogeräte nach Italien liefern kann. Die Formkörper zu den dokumentierten Rechnungen passen z.T. nicht zu den bekannten HASLER-Geräten, die in der schweizerischen Armee verwendet worden sind. Es sieht danach aus, als hätte HASLER für den Italien-Export eine Weiterentwicklung der bisherigen Geräte vorgenommen (Siehe Anhang A).

Ab den Jahren 1950 und 1951 wurden für die schweizerischen Geräte Versuche und Anpassungen gemacht, um auch Radardaten (zwei Winkel, Distanz) mit den bisherigen mechanischen Kommandogeräten zu verarbeiten. Die HASLER-Folien liegen zeitlich exakt im Bereich dieser Anpassungen. Die italienischen Kommandogeräte B.G.S. verwendeten versuchsweise bereits ab 1942/43 Radardaten (Würzburg, Volpe), nach dem Krieg mit englischem Mark II. Später wurden Contraves-Feuerleitgeräte F90 BT eingesetzt. Contraves Italia hat um die 300 Feuerleitgeräte F90 fabriziert für die NATO-Länder (elektrischer Analogrechner mit Röhren und Drehwellen, Einachs-Anhänger „Fledermaus“, Vorläufer der „Super-Fledermaus“).

Beschreibung des Rechners GAM M A-JUHASZ, später GAM M A-HASLER:

Zweite Arbeit in <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:47590/eth-47590-01.pdf>

Bearbeitet:

Dezember 2015 bis März 2016 durch A. Masson, CH-4900 Langenthal (Jahrgang 1946)

Verteiler:

Museum für Kommunikation Bern, Flieger- und Flabmuseum Dübendorf, Bibliothek am Guisanplatz Bern, analogmuseum.org (Prof. Ulmann), Technikgeschichte ETHZ, Technikgeschichte Jena, Deutsches Museum München, Wehrtechnische Sammlung Koblenz, Deutsches Technikmuseum Berlin, ENTER Museum Solothurn, ISEK Erlangen, Herbert Bruderer ehem. ETH, u.a.m.

Stichworte:

Mechanische Analog-Rechner / Schwere Fliegerabwehr / Kommandogeräte / Ballistische Körper (engl.: ballistic cams; frz.: camoïde) / Formkörper / Luftwiderstand / Kugelintegrator

Mechanisches Rechnen mit Formkörpern und Getrieben

Mit präzis geformten Körpern lassen sich Funktionen von zwei oder drei Variablen fest abspeichern. Während des Rechenbetriebes werden die Körper in ihrer Position laufend verstellt, und durch Abtasten der Oberfläche werden die aktuell gültigen Funktionswerte abgelesen. Numerische Tabellen der Firma HASLER, gefertigt für Italien in den Jahren 1950/51, gewähren einen Einblick in die damalige Welt der mechanischen Analog-Rechner. Sämtliche Berechnungen zu den Formkörpern mussten ursprünglich von Hand gemacht werden (zur automatischen Flugbahn-Berechnung: vgl. Anhang B, p. 17, Ballistischer Integrator „Mariandl“, 1948). Der mathematische Mitarbeiter der Firma HASLER, Dr. E. Schultze, konnte erst 1955 während ca. 25 Stunden auf dem ersten Digitalrechner ZUSE Z4 der ETH rechnen.

Aufgabe der Feuerleit-Rechner

Die schweren Kanonen der Fliegerabwehr (ca. 1930-1960) liessen sich nur einsetzen dank einer mechanischen Rechenhilfe, welche den Treffpunkt von Flugzeug und Geschoss ermittelte. Der Treffpunkt errechnete sich aus Ort und Geschwindigkeit des Flugzeuges sowie der Flugzeit der Geschosse, die sich allerdings erst aus dem bekanntem Treffpunkt ergibt. Kompliziert wird alles durch die gekrümmten Flugbahnen der Geschosse und die starke Abnahme ihrer Geschwindigkeit infolge des Luftwiderstandes. Der Rechner übermittelt laufend die beiden einzustellenden Winkel an die Geschütze (Seite und Höhe) sowie die sich kontinuierlich ändernden Werte für den Zeitzünder. Alle diese Werte werden bei den Geschützen mittels Handrädern und „Folgezeigern“ manuell eingestellt nach den Vorgaben des Rechners. Typische Geschossflugzeiten sind 10 bis 20 Sekunden, gerechnet wird auf noch grössere Distanzen mit bis über 30 Sekunden Geschoss-Flugdauer.

Rechnungs-Prinzip

Zwei Mann verfolgen das Flugzeug im Fernrohr und liefern dem Rechner den Seiten- und Lagewinkel des Messpunktes. Ein dritter stellt die Distanzwerte ab Telemeter ein (2m bis 4m lange Röhren, in der Schweiz auf eigenem Stativ). Daraus werden im mechanischen Rechner alle Parameter der Flugbewegung ermittelt wie Höhe, Horizontalstrecke, Kurswinkel, Horizontal- und Vertikalgeschwindigkeit, bei den HASLER-Geräten ab 1943 auch Elemente des Kurvenfluges. Aus der Flughöhe und der Horizontalstrecke ist bei vorgegebenen Schussbahnen im Prinzip bekannt, wie stark die Kanone (wegen der gekrümmten Geschossflugbahn) noch höher zielen muss als der Höhenwinkel des Flugzeuges. Diese Werte sind für unzählige Kombinationen von Höhe und Distanz in einem sorgfältig gefrästen „Ballistischen Körper“ abgespeichert worden.

Es handelt sich um präzis geschliffene Stahlkörper, welche sich auf einem Wagen per Seilzug längs ihrer zentralen Achse verschieben lassen (entsprechend der Kartenentfernung) und zusätzlich per Zahnrad in eine bestimmte Rotationslage versetzt werden (entsprechend der Flughöhe). Ein Abgreifstift an fixem Ort drückt je auf einen Körper und misst den dortigen Abstand der Oberfläche von der Achse, was z.B. die aktuelle, gesuchte Geschossflugzeit ergibt. Die Körper werden je nach Flugweg laufend verschoben und verdreht (mechanischer Realtime-Rechner).

Inventar von Formkörpern beim Kommandogerät GAMMA-JUHASZ (1938) und später GAMMA-HASLER (1940, 1943, 1950):

Es gibt drei grosse, präzise Formkörper:

- a) Aus der Horizontalstrecke bis zum Treffpunkt^{*)} und aus der Flughöhe wird die Flugzeit des Flugzeuges vom gegenwärtigen Vermessungspunkt bis zum Sprengpunkt bestimmt.
- b) Aus der Horizontalstrecke bis zum Treffpunkt^{*)} und aus der Flughöhe wird die Elevation der Kanone bestimmt

^{*)} wenn „jetzt“ geschossen würde

c) Aus der Horizontaldistanz bis zum Treffpunkt (vermehrt um den Flugweg während der Ladezeit der Kanone) und aus der Flughöhe wird die Flugdauer der Granate bestimmt.

Die Distanzen werden im Rechner aus einem nachgebildeten Flug massstabsgetreu abgemessen, unter Berücksichtigung der Flugrichtung und der errechneten Vorhaltestrecke.

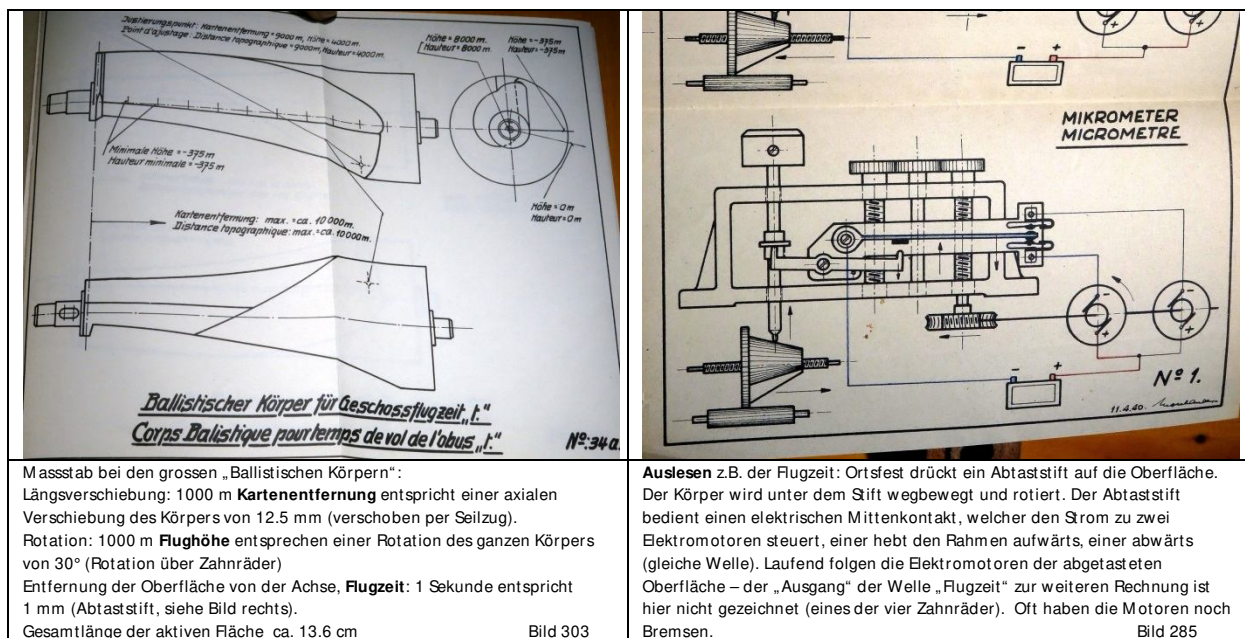
Es gibt zahlreiche weitere, kleinere Formkörper:

In vertikaler wie in horizontaler Richtung wird je die Geschwindigkeit des Flugzeuges mit der Flugzeit multipliziert, um den Vorhalt zu ermitteln. Beide Multiplikationen erfolgen mit einem Formkörper.

Die Winkel, die zur Kanone übermittelt werden, können noch **Tageskorrekturen** unterworfen werden. Das gilt auch für die Tempierung, d.h. für das Uhrwerk der Zünder. Erkennt man systematische Abweichungen, können die Werte von Hand korrigiert und verbessert werden. So können auch die Anfangsgeschwindigkeit der Geschosse oder das Luftgewicht mit aktuellen Werten eingegeben werden, ebenfalls Längswind und Querwind. Für diese Feinkorrekturen sind insgesamt **14 kleinere Formkörper** vorgesehen. Jeder einzelne Ausgangswert ist eine Funktion dreier Grössen und benötigt deshalb zwei Formkörper. Insgesamt gibt es (abgesehen von den direkten Handkorrekturen ganz am Schluss) drei gerechnete Korrekturen auf die Tempierzeit, drei gerechnete Korrekturen auf den Höhenwinkel, und eine gerechnete Korrektur auf den Seitenwinkel.

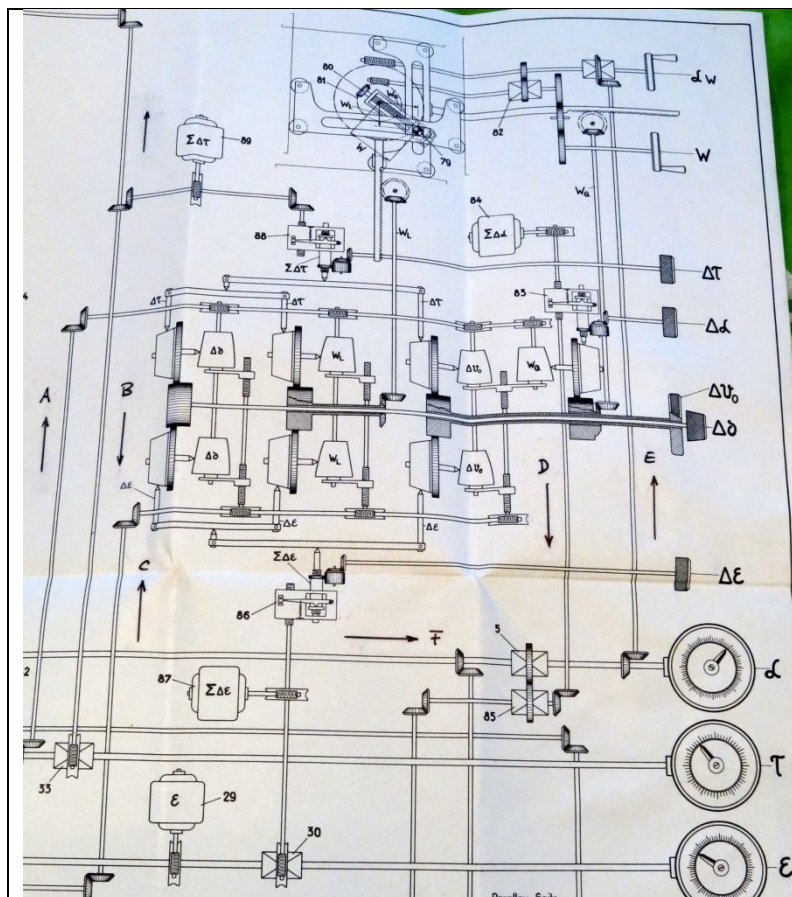
Ab dem weiterentwickelten Gerät GAMMA-HASLER 1943 kommt noch eine weitere Multiplikation dazu, da HASLER (ev. weltweit erstmals ?) eine **Kurvenflug-Extrapolation** eingebaut hat. Multiplikationen liessen sich zwar auch mittels Hebel-Getrieben auf Grund des Strahlensatzes erreichen (siehe Seite 11), aber hier werden für Multiplikationen ausschliesslich Formkörper verwendet.

Beschreibung der grossen Formkörper (Abbildungen aus den Reglementen):



Kleinere Formkörper in den „Tageskorrekturen“:

Nachdem die Rechnung einigermaßen feststeht (Flugzeug vermessen, Treffpunkt gefunden, Flugzeiten bestimmt, Kanonen-Parallaxe berücksichtigt), werden die Werte noch korrigiert je nach **Wind, Luftdichte, Pulvertemperatur**, sowie durch **drei freihändige, direkte Hand-Korrekturen** für Seiten- und Lagewinkel und Zünderzeit, entsprechend der Schussbeobachtung.



GAMMA-HASLER Modell 1940

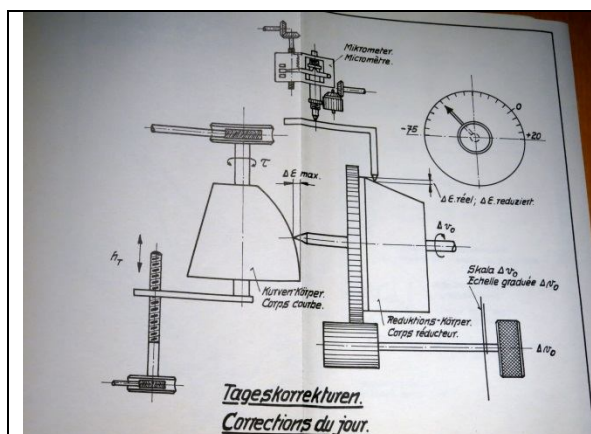
Bild 392

Korrekturen der Rechenwerte kurz vor der Ausgabe an die drei elektr. Folgezeiger für die Kanonen (rechts unten, für Seite α , Höhe ϵ , Zeitzünder τ).

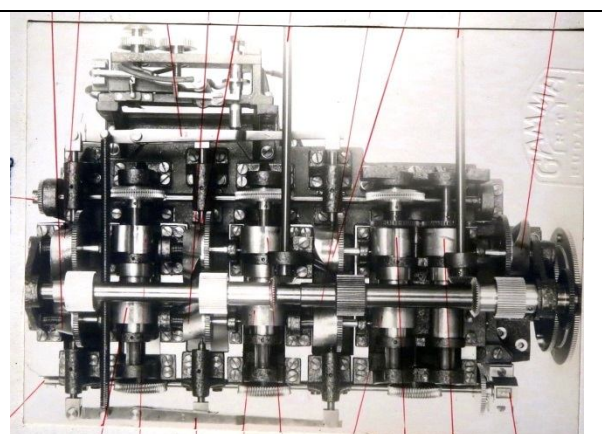
Sieben kleinere Rotationskörper (mit Buchstaben drin) **korrigieren** für Luftdichte (Δ), Wind längs (W_L), Anfangsgeschwindigkeit (Δv_0) und Wind quer (W_Q). Die Korrekturen erfolgen als Funktion von Geschossflugdauer (Welle A) und Flughöhe (Welle C). Gerechnet sind die Rotationskörper für den maximalen Wert der Störgrösse. Darauf angedrückt sitzen die sieben „Reduktionskörper“, mit denen auf die tatsächliche Störgrösse umgerechnet wird, die von Hand einzustellen ist. Der **Windzerleger** (ganz oben), teilt den eingegebenen Wind (zwei Handräder oben) in Längs- und Queranteil.

Die Korrekturen dreier Stufen werden mittels Hebelgestängen **addiert** und führen zur Korrektur der Geschossflugzeit (nach oben) resp. der Rohr-Erhöhung (nach unten). Der Querwind beeinflusst über Welle D nur den Seitenwinkel Alpha der Geschütze (Korrektur im Differential 85 und 5, addiert mit der Parallax-Korrektur von unten her). Welle E bringt den Seitenwinkel der Geschütze zum Windzerleger (Information „längs“ / „quer“).

Jede dieser 7 Tages-Korrekturen ist **von drei Variablen abhängig**. Zusätzlich ermöglichen die 3 dunklen Knöpfe rechts, die Ausgänge zu den Kanonen von Hand zu verstellen.



Zwei Formkörper in Kaskade! Körper links: Korrektur Tempierung oder Elevation bei max. mögl. Δv_0 , je nach Flughöhe und Geschossflugzeit. Körper rechts: Reduktion auf eingestelltes Δv_0 . Bild 307



Tageskorrekturen Wind, Luftdichte, Δv_0 . Mod. 1938, ca. 30x20 cm 7 Formkörper, 7 Reduktionskörper. Zuunterst die Hebel zur Addition dreier Störgrössen, oben dito mit elektr. Mikrometer Bild 264

Beschreibung der historischen HASLER-Folien

Im Museum für Kommunikation liegen 143 Folien mit numerischen Resultaten, die HASLER nach Italien geliefert hat. Es sind Negativ-Folien grosser Tabellen, abgepackt in vier Couverts, enthaltend die Resultate der numerischen Berechnungen für fünf Themen. Anschrift der Couverts und Themen:

Correzioni 90/53		14 Folien	Tageskorrekturen
Scostamento	Spoletto pirica mit 2 Themen:	Spoletta pirica 11 Folien	Tempierung
		Derivazione 12 Folien	Derivation
Elevation 90/53	Inclinazione totale 90/53	46 Folien	Elevation
Durata 90/53		60 Folien	Flugzeit Flugzeug

Die Resultate der Berechnungen sind nur selten datiert (1950), Korrekturen einzelner Werte auch 1951. Mehrfach ist ersichtlich, dass **von anderer Hand** neuere Berechnungen eingeschrieben worden sind für erhöhte Distanzen oder erhöhte Geschossflugzeiten (Erweiterung des Messbereiches).

Der Vermerk 90/53 bezieht sich auf die italienische **Flugabwehrkanone 90/53** (auch Panzerabwehr) mit Kaliber 90 mm und Rohrlänge 53 mal das Kaliber. Diese Kanone wurde ab 1939 oder 1940 in Dienst gestellt, und erst 1964 oder 1970 ausser Dienst genommen. Ein letztes Mal habe sie 1990 in Montenegro geschossen. V_0 ca. 850 m/s

Gar kein Vermerk findet sich zum **Typ des Kommandogerätes**, für den alles gerechnet worden ist! Einige der Tabellen sind auf offiziellem, vorgedrucktem HASLER-Papier geschrieben. Im Internet finden sich keine Angaben darüber, dass HASLER je eigene Kommandogeräte nach Italien geliefert hätte, wie es im Jubiläumsbuch „Hasler 1852-1952“ erwähnt wird.

Werbeprospekte von HASLER sind sicher nach Italien geschickt worden, wie in viele andere Länder auch (Aegypten, Indien), aber ob es zum Verkauf gekommen ist, bleibt offen. In der Broschüre 2005 der HASLER-Stiftung steht, „verschiedene Länder“ seien Abnehmer geworden für das Gerät 1950. Die Broschüre 2005 ist offensichtlich stark (ausschliesslich ?) beeinflusst durch das Jubiläumsbuch 1952.

Italien hat die folgenden Kommandogeräte benützt:

GALA 1937-1943

GAMMA-JUHASZ ab 1940

BORLETTI-GALILEI-SAN GIORGIO B.G.S. ab 1940 Entwicklung, ab 1941 im Einsatz mit Kanone 90/53, bis ca. 1964

Das Kommandogerät B.G.S. wurde später auch mit Radardaten versorgt: Würzburg ab 1942, Britisches Mark II in den 60-er Jahren. Die Kanone 90/53 wurde auch mit dem CONTRAVES Feuerleitgerät F90 BT gesteuert, siehe unten.

Für diese Formkörper finden sich numerische Berechnungen in den HASLER-Folien:

Körper	Variablen unabhängig	Bereich total alle Folien	Schrittweite Intervall	Anzahl Rechen-Werte pro Folie (falls gefüllt)
Correzioni	Zeit	0-25 sec	0.2 sec	
7 kleine Körper	Flughöhe	0-12'000 m	200 m	3600
Spoletta pirica	Zeit	0-30 sec	0.25 sec	
1 grosser Körper	Flughöhe	0-11'500 m	50 m	2880
Derivazione	Zeit	0-30 sec	0.25 sec	
1 grosser Körper	Flughöhe	0-11'500	50 m	650
Inclinazione	Flughöhe	0-11'200 m	100 m	
1 grosser Körper	Kartendistanz	0-12'000 m	50 m	464
Durata	Flughöhe	0-11'200/11'600 m	100 m	
1 grosser Körper	Kartendistanz	0-12'000 m	50 m (100 m erweiterter Bereich)	480

Anzahl Rechenwerte: Zieht man noch etwas ab für die teilgefüllten Folien (wenn *beide* Variablen an der oberen Bereichsgrenze liegen, ist nicht mehr gerechnet worden), so mögen 100'000 bis 120'000 Werte von Hand gerechnet oder aus Tabellen interpoliert worden sein.

Angestrebte Genauigkeit: Man stelle sich einen grossen Bomber vor in vielen Kilometern Distanz, auf 6000 m Höhe fliegend – seine Spannweite beträgt 30 Meter, und fast so fein (in Höhe und Distanz **je 50 m**) ist das Raster der Rechnungen!

Rechenarbeit: Für jede weitere Kanone / für jede neue Anfangsgeschwindigkeit muss die ganze Arbeit wiederholt werden!! In der Schweiz gab es neben der Kriegsmunition ($v_0 = 805 \text{ m/s}$) auch noch spezielle Schiessplatz-Munition ($v_0 = 550 \text{ m/s}$), damit der Vorhalt bei den viel langsameren Schleppflugzeugen ähnlich wird wie bei der Kriegsmunition. Die ganzen Sätze der ballistischen Körper mussten doppelt gerechnet, doppelt hergestellt werden – bei Bedarf musste das Kommandogerät geöffnet und mit einem anderen Satz Formkörper ausgerüstet werden.

Vergleich der HASLER-Tabellen mit den ballistischen Körpern der bekannten GAM M A-JHASZ- und GAM M A-HASLER-Geräte:

1. Die **Tageskorrekturen** scheinen gut übereinzustimmen mit den sieben Korrektur-Körpern gemäss dem bekannten Getriebe-Schema. Auf den Folien wird eine unübliche, unverständliche Notation zur Bezeichnung der einzelnen Korrekturen verwendet. Da sich aber Notizen finden, wie sich die HASLER-Leute das selbst „übersetzt“ haben und eine besser lesbare, üblichere Notation ganz klein hineingekritzelt haben, ist kaum ein Zweifel möglich. – Es sind nur diejenigen Körper gerechnet worden (oder in den Unterlagen noch vorhanden), die im Schema (vgl. Bild 392, Seite 4) einen Buchstaben tragen. Von den darauf andrückenden Reduktionskörpern ist in den Folien nichts vorhanden. Sie werden alle gleich geformt sein, d.h. ihre Form rechnet von 100% Störung nur linear um zum aktuellen Wert.

2. **Spoletta pirica**, Feuerzünder: Dieser Körper **entspricht definitiv nicht** den bekannten HASLER-Kommandogeräten, da die Variablen nicht stimmen. In den Hasler-Geräten für die Schweizer Armee wird die Tempierung der Geschosse (Zeit vom Abschuss bis zur Detonation) ermittelt aus der Flughöhe und der Horizontalentfernung. Eine **Zeit als Eingangsvariable** gibt es dort nicht.

Die verschiedenen benützten Zeitintervalle sind etwas delikat – die Flugzeit des Flugzeuges von seinem **gegenwärtigen** Ort bis zur Detonation ist etwas anderes als die Flugzeit der Granate. – Nicht klar und recht seltsam bei diesen Folien ist die Tatsache, dass als Resultat auch **negative Werte** verzeichnet sind.

3. **Derivazione**, Ablenkung des Geschosses infolge Drall und Kreiselwirkung: Bei den HASLER-Geräten ist **nichts davon bekannt**, dass es je einen eigenen Derivations-Formkörper gegeben hätte. Auch im jüngsten Gerät 43/50 R mit dem Radar-Zwischenstock (Prototyp 1950, Einsatz ab ca. 1953) ist weder im Getriebe-Schema noch im Elektro-Schema so etwas verzeichnet. Die Derivation scheint dadurch berücksichtigt worden zu sein, dass die lange Abtastnadel beim Messwagen (gibt den Flugwinkel und die Kartenentfernung) nicht gerade geformt, sondern gekrümmt ausgeführt wurde. Die seitliche Abweichung geht so mit der Horizontalentfernung einher (statt mit der Zeit), was eine Näherung darstellt. M. BERCHTEN hat gerade jene Zahlen-Blätter unterschrieben, die *nicht* zu den HASLER-Geräten passen: Spoletta pirica und Derivazione. **Vgl. dazu auch Anhang A, Seite 16.**

4. **Inclinazione**, und 5. **Durata** (Flugzeit am Flugzeug gemessen): Diese beiden Formkörper sitzen bei den HASLER-Geräten auf demselben Wagen und werden durch dieselbe Horizontalentfernung und dieselbe Flughöhe gesteuert. Die Folien scheinen von den Variablen her zu diesen ballistischen Körpern der bisherigen HASLER-Geräte zu passen. Allerdings stimmt der Massstab nicht ganz: 1000 m zusätzliche Flughöhe entspricht 30° Verdrehungswinkel des Körpers bei GAMMA-HASLER, aber nur 28° (bei 7000 bis 9000 m) bei den Folien für Italien, und bei einer Folie im sehr tiefen Bereich (unter 1000 m) sogar nur 27.5°. Anders wieder bei Durata, Flugzeit: in den Folien werden 30° Verdrehung pro 1000 m Flughöhe angegeben.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass zwei dieser Formkörper nicht zu den bekannten HASLER-Geräten passen. Ob es für Italien eine Weiterentwicklung gab (die ev. nicht mehr produziert wurde), bleibt noch unbekannt. Das Museum für Kommunikation hat ein abgeändertes HASLER-Gerät 43/50 R, das bei den Ausgangs-Synchros klar anders aussieht als die Geräte der Schweizer Armee (vgl. p. 17). Rein **zeitlich** passen die Folien (1950/51) gut zur Entwicklung des HASLER-Gerätes 43/50 R mit dem Radar-Zwischenstock.

Das italienische Gerät B.G.S. kommt weniger in Frage, da das Inhaltsverzeichnis der Betriebsanleitung auf eine stärkere Gewichtung der kartesischen Koordinaten schliessen lässt, die bei den HASLER-Geräten gar nicht verwendet werden.

Vielleicht wurden die Formkörper extra für die Italiener gerechnet, aber dann wurden die HASLER-Geräte doch nicht mehr geliefert? Dass ein GAMMA-Nachfolgegerät „durch CONTRAVES“ nach Italien geliefert wurde, ist ev. falsch:

Successivamente verrà utilizzata una nuova centrale di tiro derivata dalla GAMMA, la F/90- B della CONTRAVES, asservita ai radar tiro e di scoperta, forniti da UK e CANADA, l'AA N3 Mk. 7 e l'AA N4 Mk. 6/2, rimanendo in servizio fino ai primi anni '60, affiancando i materiali da 90/50 e 94/50 forniti dagli USA.

(Siehe Quellen, Seite 15, zweite Adresse aus Italien)

Ausschnitt aus den Folien im Detail:

Bild 587

Ausschnitt aus den **Korrekturen / Tageswerte**: Änderung der Anfangsgeschwindigkeit auf die Rohrerhöhung (kleiner Formkörper). Die Einstellung der Δv_0 erfolgt erst beim Reduktionskörper – dazu gibt es keine Folien. Ausschnitt:

Horizontal: Geschossflugzeit, von 17.0 (links, angeschnitten) bis 22.2 Sekunden (rechts).

Vertikal: Flughöhe, von 3600 m (oben) bis 9600 m (unten), alle 200 m.

Deutlich ist unten sichtbar, wie mit anderer Hand nachträglich eine Erweiterung des Bereiches gerechnet worden ist. Eine Übergangszone wurde doppelt gerechnet, und es stimmt nicht perfekt, wie andernorts. Es gibt mehrere Einzelkorrekturen, die sind gelegentlich auch datiert (1951). Offizielles HASLER-Papier, ganze Tabelle original ca. 80 x 56 cm

Bild 591

Ausschnitt aus grossem Formkörper: Durata, **Flugzeit des Flugzeuges** von „jetzt“ bis zum Treffpunkt, zur Ermittlung des Vorhaltes und des Treffpunktes.

Nach rechts: Flughöhe von 3300m bis zu 4800 m (alle 100 m)

Nach unten: Horizontalabstand von 9050m bis zu 9750 m (alle 50 m).

Div. Korrekturen bei Nachrechnungen, mit Abweichungen um 0.02 Sekunden.

Um die 25.3 Sek ist eine Grenze schraffiert (eine lange Zeit zum Schiessen, eher fast illusorisch). Die Geschossflugzeit ist ca. 3 bis 6 Sek. geringer, d.h. die Zeit von „jetzt“ bis zur Schussabgabe muss abgezogen werden.

Bild 589

Zur Berechnung „**Flugzeit**“ gibt es einen zweiten (späteren ?) Satz von 9 Folien, etwas anders beschrieben, wo Flugzeiten bis zu 32 und sogar bis 40 Sekunden vorkommen. Eine Treppenlinie ist hier bei 31 Sekunden gezogen worden. In 30 Sekunden fliegt ein Flugzeug bei 500 km/h eine Strecke von 4.2 km.

Die Flughöhe wird „**Altezza**“ oder meistens „**Quota**“ genannt. Hier wird bezüglich Horizontaldistanz nur noch alle 100 m gerechnet.

Bild 589 und Bild 591 überlappen sich im Bereich: Höhe 3800-4200m, Distanz 9100-9700m. Bereits gerechnete Bereiche werden erneut gerechnet, mit Differenzen um 0.01 bis 0.03 Sek.; meistens ist der neue Wert minimal grösser oder gleich, selten auch kleiner.

Bilder unten: In jeder zweiten Spalte (Höhe) ist jeder zweite Wert (Horizontaldistanz) von anderer Hand geschrieben worden, z.B. im Bild links mit ganz anderer Ziffer „2“, im Bild rechts mit anderen Ziffern „4“, „5“ und „7“. Womöglich sind es nachträgliche Interpolationen zwischen den wirklich gerechneten Werten, oder eine zweite Person hat diese Werte gerechnet, um leichter Fehler zu entdecken ?

Bild 591

Durata
Horizontaldistanz 9450-9850m, Flughöhe 3300-4000 m

Bild 593

Inclinazione
Horizontaldistanz 300-700m, Flughöhe 8800-9600 m

Wie werden die Formen der ballistischen Körper gerechnet ? Wie genau sind diese Rechnungen ?

Vorherst müssen die **Flugbahnen der Geschosse** bekannt sein – ohne diese Informationen lässt sich nicht daran denken, die Formkörper herzustellen. Für jeden Abschusswinkel (= Höhenwinkel) muss man wissen, wann das Geschoss wo ist. Besonders die Abbremsung der Geschosse infolge Luftwiderstand ist eine härtere Knacknuss.

Bevor sich die Flugbahnen berechnen lassen, muss die **Anfangsgeschwindigkeit v_0** bekannt sein. Es gibt Berichte von Zeitzeugen der deutschen Fliegerabwehr im zweiten Weltkrieg, wonach die Geschwindigkeit der Geschosse hauptsächlich mechanisch gemessen worden ist, mit dem **Apparat**

nach Le Boulengé. Die Prüfer fahren den Batterien nach und messen von Zeit zu Zeit, wie stark sich die v_0 der einzelnen Geschütze infolge Rohr-Ausbrand verändert hat. Das Messprinzip besteht darin, dass zwei Fall-Gewichte mittels zweier Elektromagnete ausgelöst werden, sobald das Geschoss die auf einem Rahmen hin und her gespannten Drähte zerstört. Der Abstand der beiden Rahmen entspricht einer Flugzeit von etwa 0.1 Sek. (bei einer v_0 von 800 m/s also ca. 80 Meter). Das zweite Fallgewicht löst einen Mechanismus aus, der mit einem scharfen Messerchen eine Kerbe in das erste Gewicht treibt, woraus sich der zeitliche Abstand der beiden Startzeiten herauslesen lässt. Daraus wird die Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses berechnet.

Die originalen Beschreibungen dieses Apparates von Le Boulengé (erste Versuche ab 1863) tönen schwerfällig und kompliziert, das Gerät sei aber einfach in der Handhabung gewesen und habe darum lange überlebt. Versuche zur elektronischen Messung mittels Elektronenröhren dürfte es im zweiten Weltkrieg auch bereits gegeben haben.

Berechnung der Flugbahnkurven: (Staunen und Zweifeln – bei viel zu geringem Fachwissen!)

Antiquarisch konnte die Beschreibung einer Näherungsrechnung für die Flugbahn erworben werden, welche 1937 publiziert wurde: „Einfaches Verfahren zur graphisch-rechnerischen Bestimmung einer Geschossflugbahn“, von Dr. Erwin Pflanz, Stuttgart (Wehrtechnische Monatshefte, 12. Heft, 1937). Darin wird eine halb-graphische Methode angepriesen, welche die Zeit für die Berechnung einer einzelnen Geschossflugbahn von 10 bis 20 Stunden auf ca. 3 bis 4 Stunden reduzieren soll, bei akzeptabler Genauigkeit. In kleinen Intervallen wird von Hand andauernd nachgeführt: alter Ort plus v mal t ergibt neuen Ort, dort infolge Verlangsamung eine neue Geschwindigkeit – und in jedem Intervall fällt das Geschoss etwas nach unten infolge der Erdanziehung. Graphisch wird mit dem Messzirkel zwischen zwei Figuren getanzt, was die gekoppelte Geschwindigkeitsabnahme (horizontal und vertikal) besser handhabbar machen soll.

Die Abnahme der Geschwindigkeit infolge der **Bremmung in der Luft** ist ein Knackpunkt! Wie weiss man, wie schnell sich das Geschoss in der Luft abbremst? Insbesondere um die Schallgeschwindigkeit herum wird die Abbremsung besonders heikel. Es wird in der Publikation von 1937 ohne weitere Begründung angegeben, wie gross bei der „Normalbahn Nr. 5“ die Verzögerung durch den Luftwiderstand ist, je nach der momentanen Geschwindigkeit:

Die Verzögerung durch den Luftwiderstand ist gegeben durch

$$c \cdot f(v) = \frac{\delta_y}{\delta} \cdot i \cdot \frac{\pi R^2}{P} g \cdot f(v) \quad \dots \dots \dots (4)$$

In (4) bedeuten

- P Geschossgewicht in kg,
- 2R Kaliber in m,
- i Formwert des Geschosses,
- g Erdbeschleunigung in m/sek²,
- δ_y Luftgewicht in der Höhe y in kg/m³,
- δ Luftgewicht, das der Funktion $f(v)$ zugrunde liegt,
- $f(v)$ eine nur von v abhängige Funktion,
- v Bahngeschwindigkeit des Geschosses in m/sek.

Für die Normalbahn Nr. 5 ist $\left. \begin{array}{l} \text{Abgangswinkel } \varphi = 45^\circ, \\ \text{Anfangsgeschwindigkeit } v_0 = 650 \text{ m/sek.} \end{array} \right\}$

$P = 6,9 \text{ kg}$, $2R = 0,077 \text{ m}$, $i = 1$, $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$,
 $\delta = 1,206 \text{ kg/m}^3$, $\delta_y = \text{durchschnittliches Luftgewicht} = 1,200 \text{ kg/m}^3$.

(Es ist also längs der ganzen Flugbahn c konstant.)

Weiter ist

für $0 \leq v \leq 240 \text{ m/sek}$	$f(v) = 0,014 v^2$
$240 \leq v \leq 295 \text{ m/sek}$	$= 0,05834 \cdot 10^{-3} v^3$
$295 \leq v \leq 375 \text{ m/sek}$	$= 0,06709 \cdot 10^{-3} v^6$
$375 \leq v \leq 419 \text{ m/sek}$	$= 0,09404 \cdot 10^{-3} v^5$
$v \geq 419 \text{ m/sek}$	$= 0,0394 v^2$



Zur Rechnung benötigen wir eine Rechenmaschine sowie Millimeterpapier.

Die Aufteilung in die Einzelintervalle, die Wahl der stets ungemischten v-Potenzen, deren Kurven alle schön durch den Nullpunkt gehen, das sieht alles recht willkürlich aus. Das Erstaunen wird noch grösser, wenn man sieht: Schon 1895 hat der russische Professor Nikolaj Sabudski der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg (und/oder der Michaels-Artillerie-Akademie) **genau dieselbe** Aufteilung der Geschwindigkeit gewählt, mit exakt den identischen Intervallen, denselben v-Potenzen und bis auf alle Kommastellen denselben Faktoren. Er hat einzig noch drei höhere Geschwindigkeitsintervalle angegeben, die von Dr. Pflanz ev. absichtlich verschwiegen werden (so dass er publizieren darf, ohne dass die Angaben brauchbar werden): $v = 419-550 \text{ m/s}$, $v = 550-800 \text{ m/s}$ und $v = 800-1000 \text{ m/s}$. **Über einen Zeitraum von 40 Jahren, bei sicher anderer Munition, in anderen Ländern, bei anderem Wissen, anderen Mess- oder Rechenverfahren soll sich nichts geändert haben in der Beschreibung und der rechnerischen Behandlung des Luftwiderstandes ?**

Das kann nicht sein! Da muss man sich schon fragen, ob die berechneten Flugbahnen für einzelne, konkrete Geschütze anderer Länder halbwegs realistisch sind. Die Luftreibung ist sehr stark abhängig von der genauen Form der Geschosse. Stimmt die mathematische Näherung zur Berechnung der Luftreibung nicht, so stimmen auch die berechneten Flugbahnen nicht, was dann auch die Formkörper unpräzise macht.

Zur **Flugbahnkarte** der schweizerischen 7.5 cm Flabkanonen 1938, $v_0 = 805 \text{ m/s}$: Es dauert ca. 8 Sekunden / 5000 m Strecke (bei steilem Schuss) oder ca. 11 Sekunden / 6000 m Strecke (bei flachem Schuss), bis das Geschoss in den Bereich der Schallgeschwindigkeit kommt (dort wird die Unsicherheit der Luftbremsung am grössten sein). Es wurde auf weit grössere Distanzen geschossen!

Das Geschoss fliegt am Anfang mit Mach 2.3. Erster geschlossener **Überschall-Windkanal** der Welt an der ETH, Prof Ackeret, **1935/36**, $0.4 \times 0.4 \text{ m}$, 700 kW, Mach 2

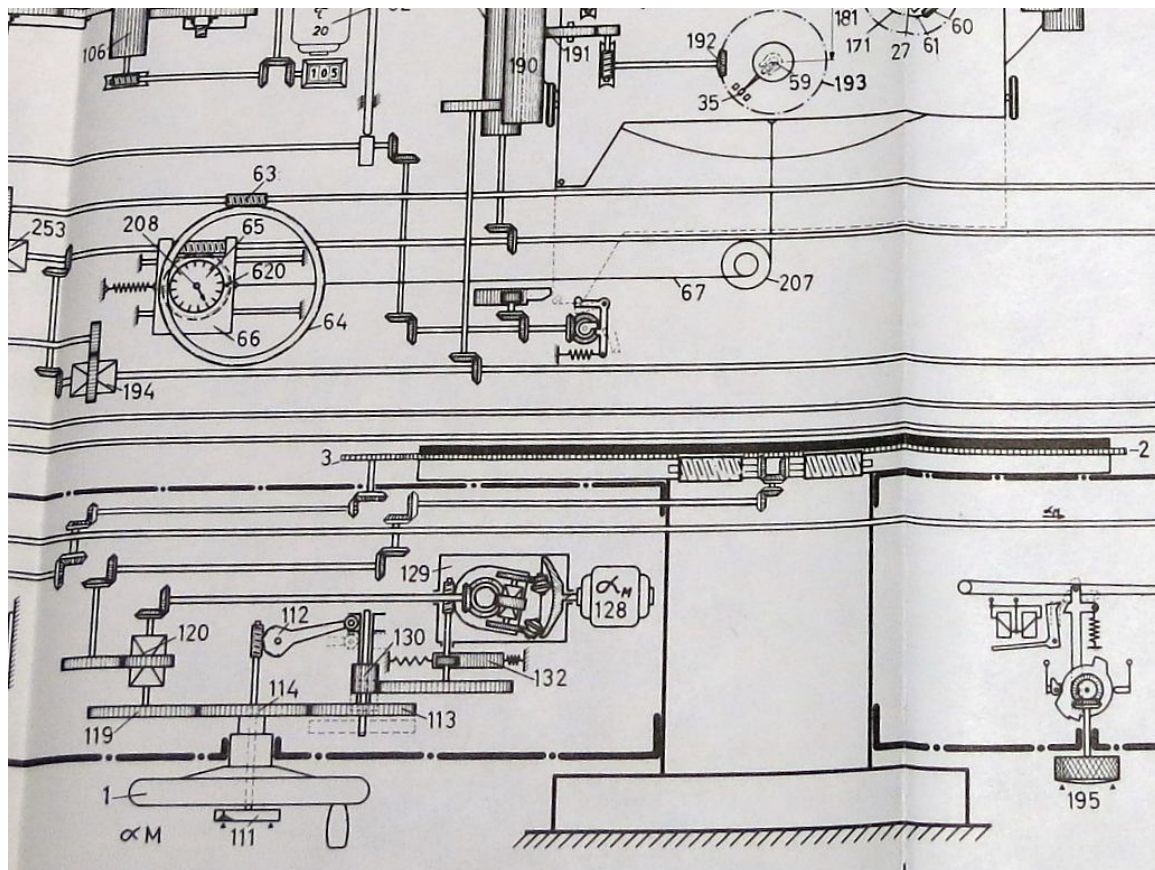
	<p>Der Rechner 43/50 R mit neu eingefügtem Zwischen-Stockwerk zur manuellen Eingabe der Radar-daten. Der mittlere Mann schaut durch das Fernrohr und dreht am Handrad, so dass das Flugzeug immer im Fadenkreuz bleibt (der ganze Rechner dreht dabei). Alternativ könnte er auf die Folgezeiger darunter blicken (Grob- und Feinbereich) und den Zeiger „Radarwinkel“ stets mit dem Zeiger „Rechnerwinkel“ in Übereinstimmung behalten. Er kopiert dadurch den Radar-Seitenwinkel in den Rechner. Der Mann links macht dasselbe mit dem Höhenwinkel, ein fehlender Mann hinten führt die Distanz nach (ab Telemeter oder Radar).</p>
Bild 85	Hinten die 7.5 cm Flab Kan 38

Bemessung der Formkörper:

Hat man die Gesamtheit der Flugbahnen einmal berechnet, von der tiefsten bis zur höchsten Rohrstellung, so gibt es keine grossen Schwierigkeiten mehr, alle numerischen Werte für die drei grossen Formkörper Flugzeit, Tempierung und Elevation aufzuschreiben (für die Formkörper der Tageskorrekturen mit drei Variablen mag es anders aussehen). Wo auch immer das Flugzeug ist, bei welchen Werte-Paaren von Höhe, Distanz, Elevation, Flugzeit – es hat ja immer Punkte auf den gerechneten Flugbahnen in der Nähe, deren Werte bekannt sind. Es wird ein grosses Blättern in unzähligen Tabellen absetzen, dann ein Interpolieren - linear oder quadratisch – und der gesuchte

von Hand nachgeregelt werden. Die Laufruhe und Präzision der Verfolgung wird dadurch erhöht. Es folgt die Beschreibung der konkreten Lösung beim Handrad für den Seitenwinkel α (Kompassrichtung vom Kommandogerät zum Flugzeug): Kopie eines kleinen Ausschnittes aus dem Getriebeplan des Modells 43/50 R.

Nachfolgende Abbildung: Links unten ist das Handrad 1 zur seitlichen Drehung des ganzen Rechners. Rechts davon symbolisch das Stativ, das auf dem Boden steht. Das Stativ trägt die grosse, hier dick schwarz gezeichnete Grundplatte, welche innerhalb des Rechners fest mit dem Boden verbunden bleibt. Darauf spult eine Messrolle (anderswo gezeichnet) massstäblich den konkreten Kurs des Flugzeuges ab (Projektion auf die Karte): Distanz, Horizontal-Geschwindigkeit und Vorhalt werden hier abgemessen. Der ganze Rechner wird um die feste Grundplatte herum gedreht – früher mit dem Ritzel 3, das jetzt nur noch zu Mess- und Anzeigezwecken dient. Die Kraftübertragung zur Bewegung des Rechners erfolgt ab Modell 43/50 R durch zwei grosse Schnecken, die unterhalb der grossen Grundplatte eingezeichnet sind.



689

Das Handrad 1 trägt einen Umschalter 111, der zwischen Direktbetrieb und automatischer Nachführung wählt, durch Auskopplung des Zahnrades 113. Gezeichnet ist die Stellung der automatischen Nachführung. Der Elektromotor 128 läuft mit ungefähr konstanter Tourenzahl (wo eine genaue Tourenzahl wichtig war, etwa beim Geschwindigkeitsmesser, wurden noch Zentrifugal-Regulatoren eingebaut!). Im Inneren der sich drehenden Kugelkalotte werden **zwei Reibrollen** angedrückt, die sich vom Handrad 1 über Zahnrad 113 **asymmetrisch** orientieren lassen. Die eine dreht dadurch schneller als die andere. Ihre Drehbewegungen werden beidseits auf ein Differentialgetriebe geführt, das nur ihre Differenz-Bewegung weitergibt (Subtraktion). Diese Differenz kommt auf ein weiteres Differential 120, wo sie gemischt wird mit der Stellung des Handrades, über Zahnrad 119. Verändert sich das Handrad 1 nicht, so wird die Drehbewegung des Reguliergetriebes 129 unverändert zu den

Antriebs-Schnecken geführt, der Rechner dreht sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Wird die Winkelgeschwindigkeit des Flugzeuges immer grösser, hinkt das Flugzeug hinter dem Fadenkreuz her, die notwendige Bewegung des Handrades korrigiert gleichzeitig die neue Winkelgeschwindigkeit und auch die Position des Flugzeuges im Fernrohr (Mischung von Ort und Geschwindigkeit). Die Doppel-Feder bei 132 stellt die beiden Reibräder auf eine symmetrische Position, sobald mit 111 umgestellt wird auf direkten Handbetrieb ohne Nachführautomatik. Das Differential 120 gibt damit unverändert die Drehbewegung des Handrades 1 weiter auf die Schnecken (der Motor wird abgestellt, die Rückstell-Feder 132 wird das Wieder-Einschalten des Automatikbetriebes erleichtern).

Der **Integrator** 129 ermittelt letztlich ein Produkt: Winkelgeschwindigkeit (sie ist in der Regel laufend veränderlich) mal die Zeit – ergibt die Seitenwinkel-Zunahme zum Flugzeug. Eine solche Nachführ-Automatik ist ebenfalls beim Höhenwinkel und bei der Distanz eingebaut worden.

Historischer Blick in die Zahnräder

Das Museum für Kommunikation in Bern verwaltet und veröffentlicht zeitgenössische Aufnahmen der Firma HASLER. Die **folgende Aufnahme** zeigt den Bereich der **Nachführautomatik des Handrades zum Seitenwinkel** (im Getriebeschema Seite 12 sind die Funktionen dieses Bereiches symbolisch dargestellt). Vermutlich handelt es sich bei der Foto um ein Kommandogerät 43. Abgebildet ist knapp ein Viertel des untersten Stockwerkes.

Oben links (Bild Seite 14): Das grosse Zahnrad ist über das Stativ fest mit dem Erdboden verbunden. Mit dem kleinen Ritzel wird der ganze Rechner um das Zahnrad herum gedreht. Auf das grosse Zahnrad kommt die Grundplatte zu liegen, auf welcher eine Messrolle den Weg des Flugzeuges abspult (Kartenprojektion, massstäblich, Strecken und Winkel werden abgemessen).

Geschlossenes Gehäuse links: Schützt den gekapselten Kugelkalotten-Integrator. Der Elektromotor zum Antrieb ist gleich links ausserhalb des Bildes. Am Ausgang des Integrators dreht sich das Zahnrad entsprechend der momentanen Winkelgeschwindigkeit des Seitenwinkels (Kompasswinkel zum Flugzeug). Über zwei Kegelräder geht die Drehung auf ein Differentialgetriebe (innere Zahnräder sind in der Öffnung knapp sichtbar); hier wird die Bewegung des Handrades (ganz unten, Bildrand) zugemischt. Zusammen geht es dann auf das Ritzel am grossen Zahnrad, welches den Rechner dreht.

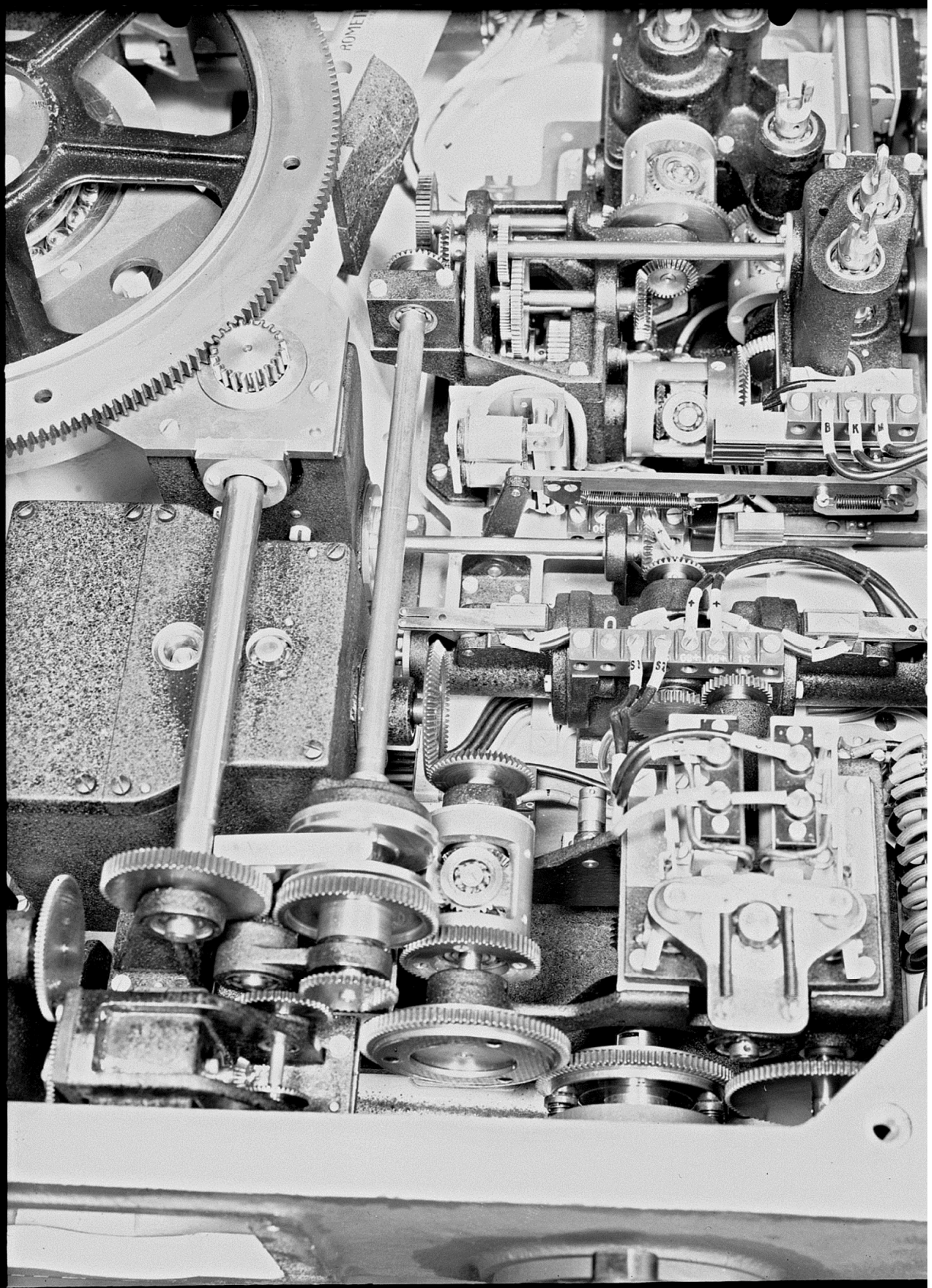
Nicht sichtbar, wahrscheinlich tiefer unten: Signalweg vom Handrad zum Integrator, mit dem die variable Ausgangs-Geschwindigkeit eingestellt wird.

Ganz rechts zuunterst: Das Zahnrad für Automatikbetrieb ist ausgeschaltet, es ist reiner Handbetrieb

Oben rechts: Fünf vertikale Kupplungen (zwei davon angeschnitten), um die Signale auf das nächste, höhere Stockwerk zu übertragen – eines davon ist der Seitenwinkel. Unmittelbar bei den Kupplungen sind links drei weitere Differentialgetriebe zu erkennen, zur Addition oder Subtraktion von Grössen.

Gemäss Reglement ist beim Automatikbetrieb eine **typische Richtgeschwindigkeit** in der Seite von 400 A‰ pro Sekunde zu erreichen (das sind 4 Sekunden für 90°), in der Höhe von 150 A‰ pro Sek, in der Distanz von 400 m/Sek. Bei reinem Handbetrieb war das nicht ganz zu erreichen.

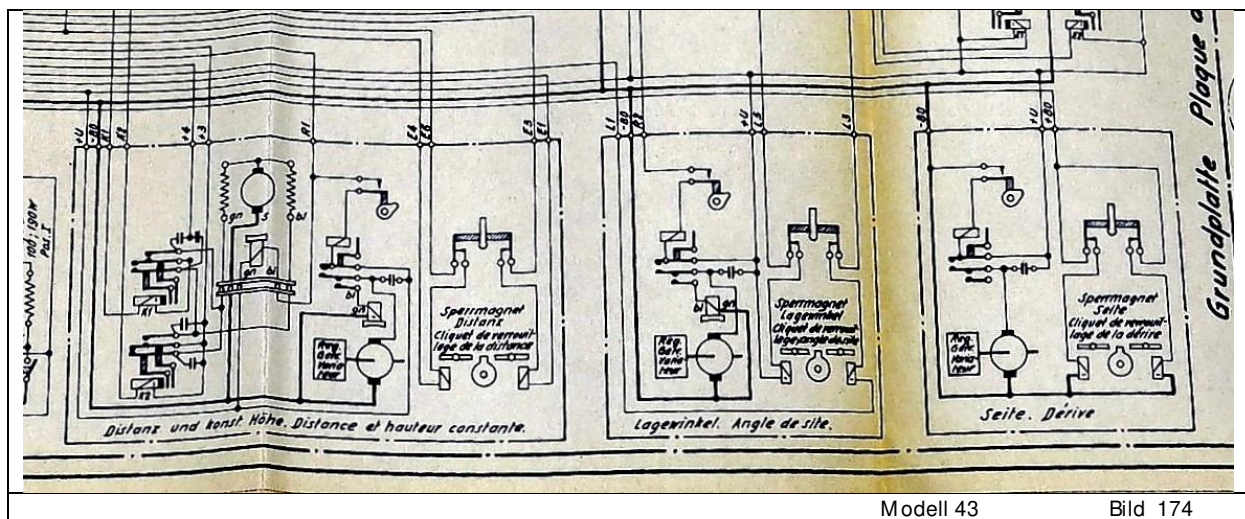
Im untersten Stockwerk befinden sich sonst noch: zwei weitere Handräder mit automatischer Nachführung (Höhenwinkel, Distanz), die Kurvenflug-Extrapolation, die Geräte-Heizung, die Anschluss-Stecker der dicken Elektrokabel mit den vielen Kontakten (35- bis 53-polig): vom/zum Telemeter, zum Zentralen-Wagen (Generator) und von dort zu den Geschützen.



HASLER AG, Bern, Bild HAS19411/01, Museum f. Kommunikation, Bern. Foto auf Glasplatte: René Kirchhofer, „ca. 1940-1950“. Mit freundlicher Erlaubnis des Museums für Kommunikation Kommandogerät Modell 43 oder 43/50.

Elektrische Ausrüstung

Neben den mechanischen Getrieben, welche sämtliche Rechnungen durchführen, ist der gesamte Rechner durchsetzt mit zahlreichen elektro-mechanischen Ausrüstungen: Motoren, Relais, Bereichsüberwacher, Grenzwertschalter, Blockiermagnete, Rücksteller, Abtast-Mikrometer zum elektro-mechanischen Kopieren von Variablen, sowie für Beleuchtungen, Synchros zur Fernübertragung der Daten vom Telemeter und zu den Geschützen. Es folgt ein Ausschnitt aus dem Schaltplan zum Modell 43, in dem die elektrische Ausrüstung der **drei Handräder mit der Nachführ-Automatik** wiedergegeben ist. Das Handrad zur Distanzeinstellung ist etwas komplizierter, weil man neben der Betriebsart „Schrägdistanz“ auch noch mit „konstanter Höhe“ arbeiten kann. Drei der hier gezeigten Motoren haben eine elektrische Bremse, der Seitenwinkel-Reguliermotor nicht. Alle drei Reguliermotoren (Distanz, Lagewinkel, Seitenwinkel) sind in dieser Stellung abgestellt (reiner Handbetrieb).



Quellen und Internet-Adressen:

Technische Zeichnungen der Kommandogeräte, Pläne, Fotos: Aus Unterlagen im Flieger- und Flab-Museum in Dübendorf, zeitgenössische Handbücher und Beschreibungen z. Hd. der Truppe oder der Waffenmechaniker. Schema der Nachlaufsteuerung des Handrades „Seitenwinkel“: Getriebschema des Modells 43/50 R, 1964

Numerische Berechnungen der Formkörper durch HASLER: Negativkopien im Museum für Kommunikation, Bern.

Beschreibung zweier mechanischer Analogrechner für die Flab: US-Gerät SPERRY (in der Schweiz nur getestet) und ungarisches Gerät GAMMA-JUHASZ (in der Schweiz ab 1938 eingesetzt und weiterentwickelt zum GAMMA-HASLER): <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:47590/eth-47590-01.pdf>

Beschreibung des GAMMA-JUHASZ auch unter: http://www.analogmuseum.org/library/GAMMA_JUHASZ.pdf

Beschreibung Italienischer Geschütze und dreier unterschiedlicher Feuerleitgeräte „Centrale di tiro“ zur Zeit des zweiten Weltkrieges in Italien (GALA, GAMMA, B.G.S.):

<http://www.grifoarriere.org/it/difesa-aerea-cnt/esercito-cnt/58-materiali-c-a/155-materiali-contraree-2>

Unter dieser Adresse wird sowohl bei der Kanone 90/53 wie auch beim Kommandogerät GAMMA beschrieben, dass Italien ein späteres, aus dem GAMMA abgeleitetes Feuerleitgerät **F 90-B** (oder -BT) der Firma CONTRAVES einsetzte, bis Mitte der 60-er Jahre. Dass beim mechanischen Rechner die Firma CONTRAVES ins Spiel kam, und nicht die erfahrenere Firma HASLER, die es selber entwickelt hat, wirkt seltsam, ist ev. falsch. 1961 bis 1997 wurde in Italien von CONTRAVES ein neueres Feuerleitgerät **CT 40** verwendet (einachsiger Vorgänger der Super-Fledermaus, CH: Fltgt 63). Dieses Gerät arbeitete mit einem neuen elektronischen Analogrechner. Statt der mechanischen Formkörper kamen spezielle Rechenkonden-

satoren zum Einsatz: Drehkondensatoren, deren Kapazität in gewünschter Weise vom Drehwinkel abhängt. Numerische Werte werden auch noch per Drehwellen weitergegeben, wie beim mechanischen Rechner.

Flak-Kommandogeräte. Buch von Oberstingenieur Dr.-Ing. Alfred Kuhlenkamp, VDI-Verlag Berlin, 1943. Figur Mitte und rechts der drei Multiplikationslösungen (Seite 11) sind von A. Kuhlenkamp. Ein Exemplar liegt in der Bibliothek der ETH Zürich. Kuhlenkamp untersuchte auch erbeutete fremde Geräte, z.B. SPERRY aus den USA.

HASLER 1852-1952 100 Jahre Fernmeldetechnik und Präzisionsmechanik. Guggenbühl und Huber-Verlag, Zürich. Auf p. 162-167 Beitrag über Kommandogeräte. Daraus Bild 85, Seite 10, Dank an die HASLER-Stiftung.

Anhänge ... zu etwas spezielleren Themen

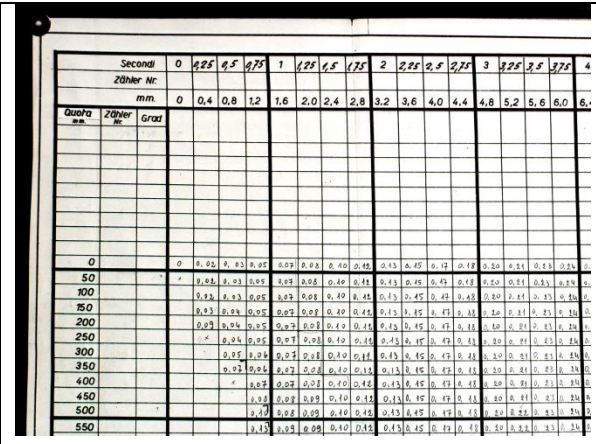
Anhang A: Die numerischen HASLER-Daten für die Formkörper passen nicht gut zu den bisher bekannten HASLER-Geräten. Begründung:

a) Ein Formkörper „Derivation“ ist bei keinem der bisher bekannten Geräte bekannt – vom GAMMA-JUHASZ über die Versionen GAMMA-HASLER 40, 43 bis zum 43/50R nicht.

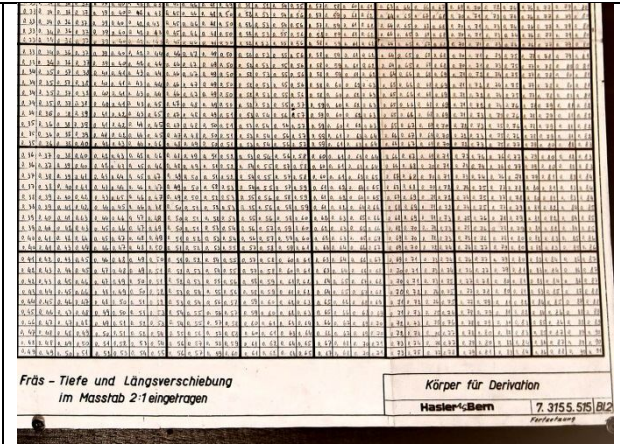
Derivation kann zweierlei bedeuten:

Erstens eine kleine, seitliche Abweichung der Geschosse infolge ihrer Rotation. Da der Luftwiderstand komplizierter am Geschoss angreift als nur im Schwerpunkt, gibt es Kreiselkräfte, Präzessionskräfte, welche die Geschoss-Achse aus der Flugbahnachse herauslenkt.

Zweitens war es üblich, den normalen **Seitenwinkel** beim Geschütz oder Kommandogerät (Kompassrichtung) im schweizerisch-französischen Sprachgebrauch als „dérive“ zu bezeichnen, im schweizerisch-italienischen als „deriva“. Das hat mit der Kreisel-Derivation gar nichts zu tun und kann leicht Verwirrung stiften. An zahlreichen Stellen, wo der Sinn sonnenklar ist und wo kein Zweifel besteht, ist die Bezeichnung „dérive“ gefunden worden. Die Ausgänge der drei Variablen zu den Geschützen sind am Rechner 43/50R mit „Seite / Dérive“, „Elevation“, „Tempierung / Durée“ angeschrieben. Würde das jemand übersetzen mit „Derivazione, Elevazione, Durata“, wäre der Salat perfekt. In den CH-Reglementen 1963/64 wurde der ital. Begriff „Deriva“ verwendet. Im Bild 429 gleich anschliessend ist auch in **deutscher** Sprache vom **Derivationskörper** die Rede, so dass klar wird: es geht um die Abweichung infolge von Kreiselkräften. Ein solcher Formkörper ist ganz neu!



Derivationskörper: Ecke links oben des ersten Blattes. Bild 427
Variablen: Zeit in 1/4-Sek. (für die Translation...) und Höhe (Quota) alle 50 m (für die Rotation des Körpers).



Fräs - Tiefe und Längsverschiebung im Massstab 2:1 eingezeichnet
Körper für Derivation
Hasler & Bern 7.315.515/2
Ecke desselben Blattes rechts unten. Bild 429
Das erste von 12 grossen Blättern. Zeitbereich insgesamt, alle Blätter zusammen: 0 bis 30 Sek., Bereich Flughöhe: 0 - 11'500 m

Bei den bekannten HASLER-Geräten wird die Derivation angenähert so berücksichtigt, dass eine lange Mess-Nadel, mit der beim simulierten, massstabsgetreuen Flug der Winkel zum Treffpunkt abgemessen wird, nicht gerade, sondern leicht gebogen ist. Damit wird die Abweichung der Flugbahn infolge Derivation eine Funktion der Horizontaldistanz – statt der Zeit. Bei einem steilen Schuss in grosse Höhen (geringe Horizontaldistanz) wird die seitliche Abweichung in den bekannten HASLER-Geräten zu gering ausfallen – eine Abweichung als Funktion der Flugzeit wäre tatsächlich besser.

Würde die „Derivation“ in der **zweiten Bedeutung** aufgefasst, als normaler „Seitenwinkel“, so ergibt ein Formkörper „Derivation“ keinen Sinn. In keinem der realisierten HASLER-Geräte hat es einen Formkörper im Berechnungsweg zum Seitenwinkel.

Bei HASLER-Geräten ist bisher nie ein **grosser** Formkörper gesteuert worden durch eine Zeitvariable (nur Flughöhe und Horizontaldistanz). Die **kleineren** Formkörper der Tageskorrekturen werden durch die Geschossflugzeit und die Flughöhe gesteuert – sie haben aber nur beim Querwind einen Ausgang zum Seitenwinkel. Es gäbe Sinn, dass in einem neu entwickelten Kommandogerät die (Kreisel-)Derivation als Korrektur zum Seitenwinkel dazugemischt wird. Allerdings haben die numerischen Werte der kleinen Korrekturkörper pro Variable auf zwei Blatt Platz gefunden – der wahrscheinlich neu eingeführte Derivationskörper benötigt dagegen 12 Blätter voller Zahlen: Das war ein grosser Körper!

Neben dem Derivationskörper wird auch der grosse Formkörper „**Spoletta pirica**“ (= Feuerzünder = Tempierung der Geschosse) in den HASLER-Folien gesteuert durch die **Zeit** (0-30 Sek.) und die **Flughöhe**. Während es bei der echten (Kreisel-)Derivation Sinn ergibt, dass sie mit der Zeit anwächst, ist bei der Tempierung nicht klar, durch welche Zeit die Zünderzeit beeinflusst werden sollte. Dieser Variablen-Wechsel wäre Ausdruck einer grösseren Änderung der bisherigen HASLER-Geräte, bei denen die Tempierung durch die **Horizontaldistanz** und die **Flughöhe** bestimmt wird.

Was dafür spricht, dass die besprochenen HASLER-Folien wirklich für ein nach Italien zu lieferndes HASLER-Gerät gerechnet wurden:

Die Sammlung des Museum f. Kommunikation besitzt zwei historische Bilder von HASLER-Geräten (geöffnet, unterstes Geräte-Stockwerk), die angeschrieben sind mit „**Italienisches Kommandogerät**“, datiert 21. März 1952. Bilder: HAS21783/01 und HAS21785/01, im Internet abrufbar.

Der **Rechner 43/ 50R** des Museums für Kommunikation hat die drei Ausgänge zu den Geschützen (Seite, Höhe, Zeit) **auf italienisch** angeschrieben – und **alle drei Worte unterscheiden sich vom schweizerisch-italienischen Sprachgebrauch**:

Deriva – Elevazione – Durata

Schweizer Usanz (Reglemente, Bild 708,710)

Vorsicht mit „Derivation“!

Direzione – Inclinazone – Graduazione

Museum f. Kommunikation, ev. für Italien bestimmt, oder ital. Versuche ?

Anhang B: Flugbahnberechnungen maschinell

Die **Flugbahnen der Geschosse** konnten ab 1948 auf einem 4 m langen „**ballistischen Integrappen**“ der Artillerie gerechnet und dargestellt werden. Der mechanische Integrator von AMSLER, Schaffhausen mit zuerst vier, ab 1950 fünf Kugel-Integratoren, elektrischer Nachführung zwecks Drehmomentverstärkung, mit Kurvenschreiber und einer Filmkamera, welche alle gerechneten Zahlenwerte dokumentiert, ist beschrieben in:

<http://dx.doi.org/10.5169/seals-83990>

Dort wird Bezug genommen auf ein vereinfachtes „Schulmodell“ 1945 (ev. der Prototyp 1941/42 ?).

Im Bundesarchiv finden sich Schussversuche 7.5 cm Flab-Kan 38, deren Resultate verglichen werden mit Berechnungen von 1943 und 1952 auf einem ballistischen Integrappen.

Der oben erwähnte Integrapp ist restauriert worden, er trägt sogar einen Namen: „Mariandl“.

Beschreibung der Restauration, mit z.T. besseren Fotos (Bulletin 3/10 Stiftung HAM):

http://www.armeemuseum.ch/uploads/media/Bulletin_VSAM_d_3-10.pdf

Das Gerät liegt bei der Stiftung HAM in Thun. Erhalten sind ebenfalls fünf Schachteln mit zeitgenössischen Unterlagen. Es liess sich auch hier nichts Genaueres darüber finden, wie man zu dieser Zeit den Luftwiderstand für verschiedene Geschosse, verschiedene Geschwindigkeiten usw. gekannt hat.

Zwei Vorbehalte dazu:

Das Integriergerät „Mariandl“ ist jünger als die Kommandogeräte GAMMA-Hasler. Die Formkörper der Kommandogeräte waren längstens fixfertig eingesetzt, als die Berechnungen mit dem ballistischen Integrappen erst begonnen haben.

Der Luftwiderstand der Geschosse mag bei den Handrechnungen ev. anders berücksichtigt worden sein als beim mechanischen Rechner. In beiden Fällen war zu prüfen, was man überhaupt machen kann – mit der Maschine oder von Hand.

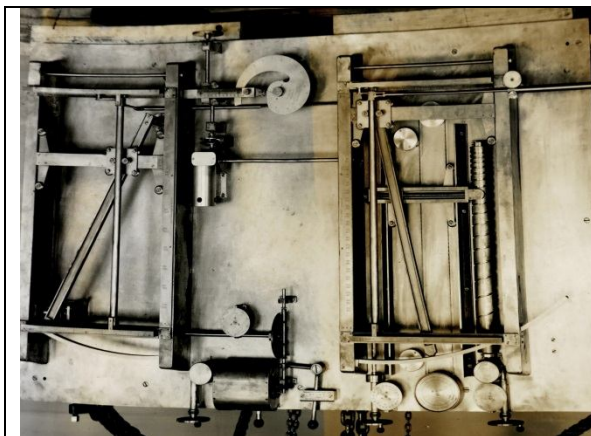
Die Ingenieure Curti und Dubois, welche bei AMSLER den Integrappen gebaut haben, stützen sich beim Luftwiderstand auf Dupuis, Garnier, Rouzier. Numerische Zahlenwerte: aus Tabelle B von Garnier in „Mémorial de l'Artillerie Francaise“, Annexe du 1er fascicule **de 1929**.

Die **Idee, die Hoffnung, die Näherung** besteht darin, dass die Verzögerung des Geschosses infolge Luftwiderstand in jedem Punkt der Bahn als **Produkt dreier getrennter Faktoren** dargestellt wird:

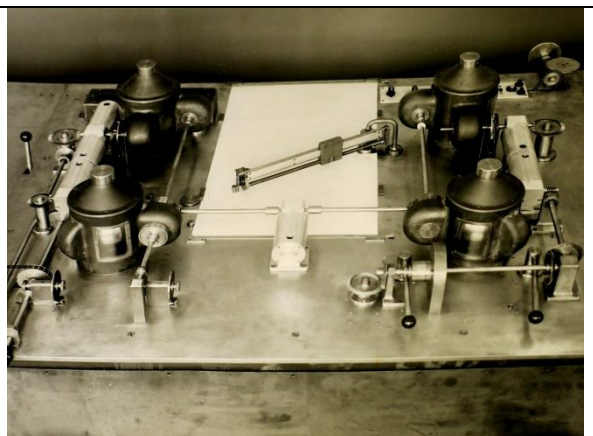
Formkoeffizient (Geschossform) **mal** Verhältnis (**Luftdruck** auf Flughöhe / **Luftdruck** auf Referenzhöhe) **mal** eine **Luftwiderstandsfunktion $F(m)$** , die nur noch von der momentanen Machzahl m abhängen soll. Die momentane Machzahl hängt ab von der Höhe, der Lufttemperatur, und von der gegenwärtigen Geschwindigkeit des Geschosses.

Sehr grosse Mühe gab man sich, alle atmosphärischen Variablen richtig zu berücksichtigen. **Einsilbig und unergiebig** werden die Beschreibungen bei $F(m)$ – man findet fast nichts. Alles wird kompliziert dadurch, dass die Sektion für Schiessversuche in Thun eine ganz andere Schreibweise für $F(m)$ kennt als das AMSLER-Gerät – es gibt Umrechnungen... (aber nicht innerhalb einer Flugbahn-Berechnung)

p.34 Text, Bild 978: **Eine** Stelle wurde gefunden, wonach **ein anderes Geschoss auch ein anderes $F(m)$ -Herz benötigt!!**



Stangen/Schlitten links: Ermittlung der Mach-Zahl aus der momentanen Höhe, Geschwindigkeit, Luft-Temperatur (mit Wurzel-Funktion!). Rechts: Bremsverzögerung aus der Höhe, Luftdruck (Spiralrille), Formkoeff. (Handrad unten) und $F(m)$. „**Herz**“ in der Mitte oben, ca. 25 cm breit: Die Form dreht sich gemäss der Machzahl ($360^\circ + 90^\circ$), links wird der Faktor $F(m)$ abgegriffen. **Hier** ist die grosse Unsicherheit bezüglich Luftwiderstand in Metall gefertigt!



Vier Kugel-Integratoren (ab 1950 wurde ein fünfter angebaut). Die Variablen werden auch unterhalb der Tischplatte mittels Drehwellen weitergegeben, dort auch trigonometr. Zerlegung der Geschwindigkeit. Bildmitte: Motor gibt den Zeitwert als Drehwinkel an alle vier Integratoren. Auf Papier wird der „Hodograph“ gezeichnet, auf anderen Papieren die Flugbahn $y(x)$, hier nicht gezeigt. Tischbreite ca. ein Meter, Länge total ca. vier Meter.

Bilder, Quelle: Firma AMSLER, Schaffhausen; gegenwärtig bei der Stiftung HAM, Thun. Die maschinelle Berechnung einer **einzelnen Flugbahn** soll ca. 15 Minuten benötigen – statt ca. vier Arbeitstage bei der reinen Handrechnung (Aufwand ist stark von der Genauigkeit und der Schrittweite abhängig). Angaben gemäss AMSLER, welche die Geräte verkaufen will.

Beim Form-„Herz“ im Bild oben liegt Mach 1 ungefähr bei 7h oder 8h, wo die Zunahme besonders deutlich wird. Freihändig geschätzt, liegt der Abgriff oben links ungefähr bei Mach 3. Die KTA verlangte, dass der Analogrechner sogar bis zu einer Anfangsgeschwindigkeit von 2000 m/s rechnen soll, was **deutlich höher** liegt als alle damals erzielbaren Geschwindigkeiten:

Flab Kan 7.5 cm 1938: $v_0 = 805$ m/s.

20 mm Flab zeitgenössisch: $v_0 = 950$ m/s (Oerlikon, Hispano-Suiza ?)

10.5 cm Kan 1935: $v_0 = 785$ m/s.

Bison-Geschütze 15.5 cm (ab ca. 1988-92): $v_0 = 845$ m/s bei Ladung 9 und Stahlgranaten.

Die Firma AMSLER hat sich 1944 (noch vor der definitiven Offerte) klar ausbedungen, dass die KTA die verbindlichen numerischen Werte für die Luftwiderstandsfunktion $F(m)$ bei so grossen Geschwindigkeiten in tabellarischer Form **selber liefern müsse**. Den weiteren Wunsch der KTA, dass auch höhere Gipfelhöhen der Flugbahnen beherrscht werden, wo der Luftdruck bis auf 100 mm Hg hinunter kommt (Scheitelhöhen über 13'000 müM), erachtet AMSLER aus fertigungstechnischen Gründen resp. wegen abnehmender Genauigkeit als beinahe undurchführbar. KTA = Kriegstechnische Abteilung

Es gab konkrete Vorschläge (1955), wie der Analogrechner umzubauen sei für **Raketengeschosse**, deren Geschwindigkeit immer grösser wird, während die Masse infolge des verbrannten Treibstoffes abnimmt.

Prinzip des Kugel-Integrators:

Abbildungen aus den zeitgenössischen Unterlagen zu „Mariandl“. Heute sind Angaben zur Wirkungsweise der Kugelintegratoren im Internet nur schwer zu finden. Idee geht gemäss Th. Erismann von AMSLER zurück auf Henry Selby Hele-Shaw 1885.

<p style="text-align: center;">Der Kugelintegrator</p>	<p>Quelle: Oberst P. Curti, März 1943: Flugbahn-Integratort Curti 1942. Konstrukteur: Dr. Fr. Dubois</p> <p>Antriebsrolle und angetriebene Rolle legen die Drehachse der Kugel noch nicht fest – man hat noch einen Freiheitsgrad. Mit einer dritten, im Winkel schwenkbaren Rolle (hier nicht eingezeichnet) wird die Drehachse der Kugel festgelegt. Der Winkel dieser „Leitrolle“ wird bei „Mariandl“ unterhalb der Tischebene eingestellt.</p> <p>Die Kugel rollt so, dass alle drei Rollen nur tangential abrollen und nicht seitlich noch schieben, denn das gäbe einen grösseren Widerstand. Der Winkel α bestimmt die Drehgeschwindigkeit der angetriebenen Rolle.</p>
<p>Im folgenden wird gezeigt, dass man das gleiche Verfahren auch bei:</p> <p>3. Mechanischen oder elektrischen Integratoren</p> <p>anwenden kann. Dabei ist es gleichgültig, welches Integratorsystem verwendet wird. Das Verfahren geht bei Verwendung von Kugel-Reibscheiben- und Schneidenintegratoren oder elektrischen Integratoren.</p> <p>Ich deute in den folgenden Prinzipskizzen schematisch Kugelintegratoren an.</p> <p style="text-align: center;">Fig. 4</p> <p>I = Integratorkugel T = Antriebsrolle F = Angetriebene Rolle L = Leitrolle P = Variable Drehaxe der Integratorkugel.</p>	<p>Quelle: Unterlagen Mariandl</p> <p>Drehung der Rollen $T(\Delta t)$ und $L(\alpha)$ sind die Eingangsvariablen, Drehung von F ist der Ausgang.</p> <p>α muss durch ein externes Gestänge so eingestellt werden, dass $\tan \alpha$ gleich der zu integrierenden Funktion wird.</p> <p>Integriert werden bei Mariandl die beiden momentanen Geschwindigkeitskomponenten des Geschosses (ergibt x und y), die Änderung der Flugbahnrichtung infolge Erdbeschleunigung (ergibt neue Richtung), und die Änderung der Geschwindigkeit infolge Luftwiderstand und Erdanziehung (ergibt neue Geschwindigkeit). Alle diese Integrationen sind miteinander verkoppelt!</p>

<p>Ueber die Funktion der Kugelintegratoren sei nur gesagt, dass die Integratorkugel I von einer Reibrolle T angetrieben wird. Die Umfangsgeschwindigkeit der Antriebsrolle T ist proportional dem Differential α' der unabhängigen Variablen. Der Integratorkugel wird ihre Drehaxe durch die Leitrollen L aufgezungen. Diese Leitrollen sind um den Winkel $\pm \alpha$ schwenkbar. Ihre Schwenkaxe ist eine die Drehaxe P senkrecht schneidende Axe O.</p> <p>Es kann leicht nachgewiesen werden, dass die Umfangsgeschwindigkeit der angetriebenen Rolle gleich $f'(t)dt$ ist, wenn $\alpha = f'(t)$ eingestellt wird.</p> <p>Sind nun eine gewisse Anzahl Umdrehungen der Rolle T proportional dem Betrag $(t_2 - t_1)$ des Arguments, dann sind die gleichzeitig von der Rolle F abgenommenen Anzahl Umdrehungen proportional dem Integral</p> $F = \int_{t_1}^{t_2} f'(t)dt.$ <p>Dabei wird vorausgesetzt, dass der Winkel α durch eine geeignete Vorrichtung laufend dem Argument t entsprechend eingestellt wird.</p> <p>Kugelintegratoren sind gegenwärtig die genauesten mechanischen Integratoren. Ihre Fehler liegen bei Verwendung von elektrischen Nachlaufwerken zwischen 0,5 bis 1 %.</p> <p>Ihr praktisch verwendbarer Schwenkbereich $\pm \alpha$ ist aus technischen Gründen auf max. 120° beschränkt. Wenn der einzustellende max. Betrag des Diff. Quot 600 Einheiten misst, so ist ohne weiteres klar, dass Änderungen der Differentialkurve um 3 bis 6 Einheiten vom Integrationsmechanismus nicht mehr richtig erfasst werden, weil sie innerhalb der Fehlergrenze des Integrators liegen.</p>	<p>Quelle: Unterlagen Mariandl</p>
--	------------------------------------

Am Ausgang des Kugelintegrators folgt sofort eine **Drehmoment-Verstärkung** in Form einer „**elektrischen Nachführung**“, gleich wie beim Kommandogerät GAMMA-HASLER. Es werden feine Elektro-Kontakte („Nachlaufwerk“) die Position der per Elektromotor angetriebenen Achse so steuern, dass sie stets der Position der zu verstärkenden Variablen entspricht. Das Ein- und Ausschaltung der Ströme für die Elektromotoren erfolgt bei „Mariandl“ bereits durch **Elektronenröhren mit Steuergitter**. Im Kommandogerät schalten noch ausschliesslich Relais die hohen Motorströme ein und aus.

Anhang C: Typen und technische Entwicklung beim Kommandogerät GAMMA-JUHASZ, später GAMMA-HASLER

Das Gerät wurde laufend weiterentwickelt. Hier werden einige der markanteren Entwicklungsstufen aufgelistet. Daneben gab es Spezialformen und Prototypen, die nie in Stückzahlen produziert worden sind (im Internet abrufbare Bilder im Museum für Kommunikation zeugen davon). So z.B. Radar-Folgezeiger als aufgesetzte „Ohren“, oder ein Telemeter direkt auf dem Kommandogerät aufgesetzt.

In den letzten bekannten Reglementen 1963/64 wird das Modell 43 nicht mehr als eigene Version aufgeführt. Im Bundesarchiv erscheinen zusätzlich noch Modelle 43/55 und 43/57, die es in den Reglementen 1963/64 nicht gibt. Im März 1952 sind bei HASLER zwei Bilder eines offenen „italienischen Kommandogerätes“ aufgenommen worden (ev. im Bauzustand), Bild zu finden im Museum f. Kommunikation Bern.

Ab 1953: 24 Exemplare von total 83 Kommandogeräten werden in der Schweiz nach und nach umgebaut zum 43/50 R mit Radarbetrieb. Die Typenbezeichnung gibt das Jahr der Entwicklung an, nicht die Einführung bei der Truppe.

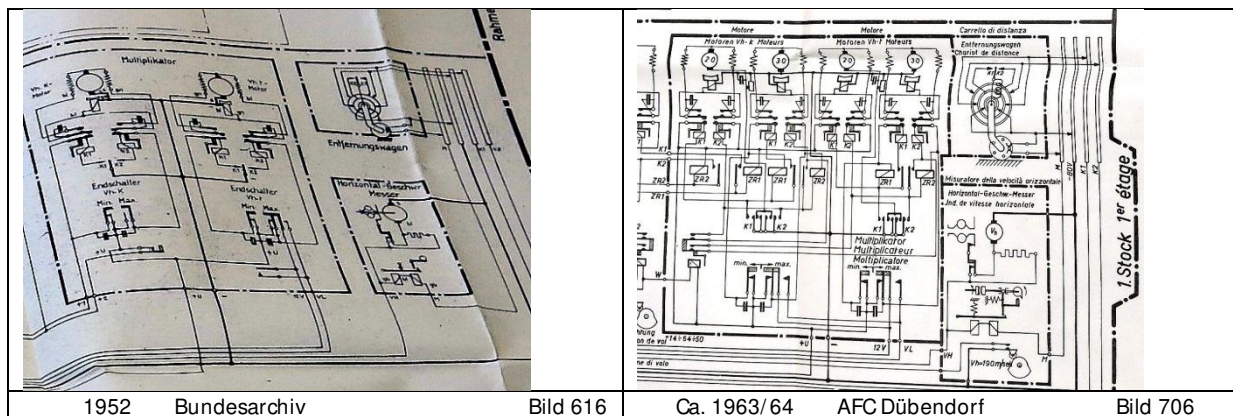
Im Jahr 1957 tauchen erste Fledermaus-Geräte auf (CONTRAVES) mit elektronischem Analogrechner, noch nicht für die Schweizer Armee. Die 7.5 cm Flab Kan 38 werden 1967 ausgemustert – der Rechner verliert seinen Zweck.

Jahr, Typ	Entwicklung
38	<p>Gehäuse z.T. rund</p> <p>Es gibt noch zwei $v_{\text{horizontal}}$-Messer</p> <p>Fernrohre sind unten angebracht</p> <p>Distanzwagen: Die zwei Flugrichtungsarme liegen nebeneinander</p> <p>Produktion Ungarn, GAMMA-JUHASZ</p>
40	<p>Gehäuse z.T. rund</p> <p>Nur noch einen $v_{\text{horizontal}}$-Messer</p> <p>Fernrohre sind immer noch unten angebracht</p> <p>Handrad Distanz ist noch unten auf der Vorderseite, mittig</p> <p>Distanzwagen: Die zwei Flugrichtungsarme liegen noch nebeneinander</p> <p>Bessere Elektro-Kontakte durch HASLER; „HASLER-Bremsen“, neue Motoren</p> <p>Max. Seitenvorhalt Arm I: 3400 m, Arm II: 4400 m</p> <p>Max. Zielgeschwindigkeit 300 m/s (bisher 110 m/s)</p> <p>Max. Distanz 10'000 m (bisher 8'500 m)</p> <p>Produktion HASLER, Bern</p>

- 43 Gehäuse eckig
Fernrohre sind neu oben angebracht, das Seiten-Fernrohr leicht höher
Zwei Handräder unten (Höhen- und Seitenwinkel) sind noch gleich hoch
Handrad Distanz ist neu auf der rechten Seite.
Distanzwagen: die zwei Flugrichtungsarme sind seitlich versetzt
Alle drei Handräder werden mit neuer **Nachlaufsteuerung** versehen
Extrapolation für den **Kurvenflug** (ev. eine Premiere ?)
Höhere Vertikalgeschwindigkeit (Sturzflug) bis -200 m/s (statt -145 m/s)
- 43/50 **Zwei unterschiedliche Masstäbe:** Messen und Rechnen Flugzeug / Ballistik
Seitenbewegung immer noch mit kleinem Ritzel auf das Stativ übertragen
Handräder für Seiten- und Höhenwinkel vermutl. gleich hoch (keine Änderung in den
Zwei Flugrichtungsmotoren: fein / schnell (Getrieben)
Max. Seitenvorhalt Arm I: 4400 m, Arm II: 5450 m Blockierung Entfernungswagen ??
- 43/50 R **Radarzwischenstock** mit neuen Folgezeigern (2 Winkel links, 2 Distanzen rechts)
Alter Folgezeiger für die Telemeter-Entfernung ist im Zwischenstock montiert
Das Handrad Seitenwinkel liegt leicht höher als das Handrad Lagewinkel
Seitenbewegung wird mit 2 grossen Schnecken übertragen; Ritzel nur zur Ablesung
Je zwei Motoren jetzt auch für Flugzeit und Tempierung: Neue Mikrometer mit
Bereichen fein / schnell. Beide Motor-Ausgänge per Differential addiert.
Je zwei Motoren auch bei der Vorhalt-Multiplikation $v_h \cdot t$, $v_v \cdot t$; Schnellgang Distanz
Neue Variablen bei Multiplikation: Vorhalt mit Ladeverzug. Ein Differential weniger
Max. Seitenvorhalt Arm I: 4900 m, Arm II: 6400 m
Betriebsstundenzähler im Zwischenstock
8 Elektromagnete mit Schleifringen, „Seitenfreigabe“, am Stativ ?

Selbst das jüngste Modell 43/50 R durchlief nochmals weitere Entwicklungen. Gezeigt wird im folgenden **links** die **elektrische Schaltung 1952** zur Abtastung der beiden Formkörper „Vorhalt-Multiplikation“: Horizontalgeschwindigkeit mal die Zeit (Zeit mit resp. ohne Ladeverzögerung). Zuerst: Je ein Elektromotor mit Bremse. Darunter die Relais, welche den hohen Motorstrom von den empfindlichen Mikrometer-Kontakten fernhalten. Mikrometer gleich unterhalb der Relais, mit K1, Mittelkontakt, K2. Darunter Endausschalter. Rechts oben die Messrolle, welche auf der Grundplatte den Weg des Flugzeuges abträgt. Unten rechts: Horizontal-Geschwindigkeits-Messer, der Elektromotor wird in der Tourenzahl stabilisiert mit einem Kugel-Zentrifugal-Regulator (!).

Unten rechts: Derselbe Ausschnitt aus dem Elektroplan, jetzt ca. **1963/64**. Es hat neu Motoren fein und schnell, die Mikrometerkontakte sind komplexer, d.h. zweistufig geworden zur Bewältigung der zwei Geschwindigkeitsstufen, die Endausschalter auch. Die Zweistufigkeit benötigte einen ganzen Satz Zwischenkontakte (sechs Spulen) oberhalb der Mikrometer. In beiden dieser Versionen ist der Radar-Zwischenstockwerk eingezeichnet zum Empfang der Radardaten!



Aufgabe der oben abgebildeten Schaltung: Der Formkörper dreht und verschiebt sich autonom, entsprechend der aktuellen Fluglage. Ortsfest tastet ein federnder Stift die Oberfläche des Formkörpers ab. Die Lage des Abtaststiftes steuert über das elektrische Mikrometer einen (neu: zwei) Elektromotor(en), wodurch der **numerische Wert des Vorhaltes vom Formkörpers** belastbar auf eine drehende Welle **kopiert wird**, die für weitere Berechnungen anderswo zur Verfügung steht.

Ca. **25 Jahre** lang hat die Firma HASLER an diesem mechanischen Rechner gearbeitet, ihn weiterentwickelt, die Messbereiche vergrössert, stets für weitere Neuerungen gesorgt.

Die Pläne (Getriebe- und Elektro-Pläne) der Geräte ab Modell 40 sind unterzeichnet mit Kommando Flieger- und Flabtruppen, oder mit K+W (Eidg. Konstruktionswerkstätte Thun) oder mit HASLER AG. **Falls wesentliche Impulse zur Weiterentwicklung auch von den Ingenieuren der K+W gekommen sein sollten, sei die späte Erwähnung dieser Möglichkeit entschuldigt.**

Quellen und Internet-Adressen: Siehe Seite 15, noch vor den drei Anhängen A, B, C.

Der Flab-Archäologe: André Masson, CH-4900 Langenthal.

Nov. 2015 bis März 2016